

**This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

**Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.**

**Defects in the images may include (but are not limited to):**

- **BLACK BORDERS**
- **TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- **FADED TEXT**
- **ILLEGIBLE TEXT**
- **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- **COLORED PHOTOS**
- **BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS**
- **GRAY SCALE DOCUMENTS**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE CLASSIFIED (CSTO)

BLANK



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 07 783 A 1**

⑲ Aktenzeichen: 198 07 783.1  
⑳ Anmeldetag: 18. 2. 98  
㉔ Offenlegungstag: 2. 9. 99

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 01 S 3/19**  
H 01 S 3/085  
H 01 S 3/133  
H 01 L 31/173  
G 08 C 23/00  
H 04 B 10/02

DE 198 07 783 A 1

- ⑦1 Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE
- ⑦2 Erfinder:  
Wipiejewski, Torsten, Dr.-Ing., 93049 Regensburg, DE
- ⑤6 Entgegenhaltungen:  
DE 44 44 470 A1  
WO 95 18 479  
LIM, S.F. u.a.: Intracavity resonant quantum-well photodetection of a vertical-cavity surface-emitting laser. In: Electronics Letters, 1997, Vol. 33, No. 7, S. 597-598;  
FLOYD, P.D. u.a.: Comparison of optical losses in dielectric-apertured vertical-cavity lasers. In: IEEE Photonics Technology Letters, 1996, Vol. 8, No. 5, S. 590-592;  
THIBEAULT, B.J. u.a.: Reduced optical scattering loss in vertical-cavity lasers using a thin (300 Å) oxide aperture. In: IEEE Photonics

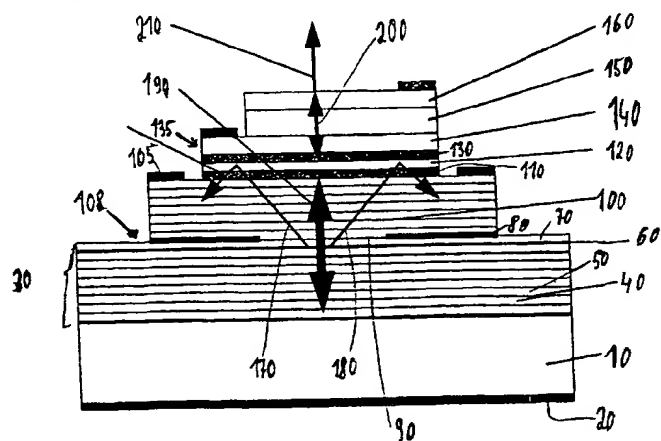
Technology Letters, 1996, Vol. 8, No. 5, S.593-595;  
DEPPE, D.G. u.a.: Eigenmode confinement in the dielectrically apertured Fabry-Perot microcavity. In: IEEE Photonics Technology Letters, 1997, Vol. 9, No. 6, S. 713-715;  
SONG, J.I. u.a.: Monolithic arrays of surface-emitting laser NOR logic devices. In: IEEE Photonics Technology Letters, 1993, Vol. 5, No. 8, S. 902-904;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Bauelement mit einem Lichtsender und einem Lichtempfänger

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Bauelement mit einem Substrat (10), auf dem wenigstens ein Lichtsender, der Licht mit einer Emissionswellenlänge  $\lambda$  emittiert, und wenigstens ein Lichtempfänger übereinander angeordnet sind. Das erfindungsgemäße Bauelement zeichnet sich dadurch aus, daß sich zwischen dem Lichtsender und dem Lichtempfänger wenigstens eine Funktionsschicht (110, 120, 130) befindet, und daß der Brechungsindex der Funktionsschicht (110, 120, 130) höchstens 2,5 beträgt.



DE 198 07 783 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Bauelement mit einem Substrat, auf dem wenigstens ein Lichtsender, der Licht mit einer Emissionswellenlänge  $\lambda$  emittiert, und wenigstens ein Lichtempfänger übereinander angeordnet sind.

Bauelemente mit einem Lichtsender und einem Lichtempfänger werden insbesondere in der Optoelektronik eingesetzt. Bei dem Lichtsender handelt es sich hierbei vorzugsweise um eine Vertikalresonator-Laserdiode (Vertical Cavity Surface Emitting Laser; VCSEL). Derartige Vertikalresonator-Laserdioden weisen üblicherweise eine Heterostruktur auf. Hiermit sind Strukturen mit Schichtenfolgen gemeint. Bei den verschiedenen Schichten handelt es sich zwar um dasselbe Materialsystem (zum Beispiel  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ), doch wird hierbei durch eine Variation des Aluminium-Gehalts  $x$  sowohl die chemische Zusammensetzung als auch die Energielücke zwischen den einzelnen Schichten variiert. Vorzugsweise wird die Vertikalresonator-Laserdiode so aufgebaut, daß sich an eine für den Lasereffekt notwendige aktive Zone ein Bereich aus einem Material mit einer größeren Energielücke anschließt. Hierdurch kann die Ladungsträgerrekombination auf einen schmalen Bereich eingengt und damit die zum Einsetzen einer Lasertätigkeit notwendige Pumpstromdichte deutlich reduziert werden.

Vertikalresonator-Laserdioden (VCSEL) ermöglichen eine relativ einfache vertikale Integration mit anderen optoelektronischen Bauelementen. Eine monolithische Integration mit Photodetektoren ist gleichfalls bekannt. So werden beispielsweise für optische Datenleitungen (Data-Links) Monitor-Photodioden benötigt, um die optische Ausgangsleistung der Sendeelemente auf einen konstanten Wert einregeln zu können. Hierbei erfaßt der Lichtempfänger die optische Ausgangsleistung des Lichtsenders und speist diese in einen Steuerkreis ein. Ferner ist es bekannt, die ermittelte Ausgangsleistung des Lichtsenders zu seiner Steuerung einzusetzen.

Bei dem Lichtempfänger handelt es sich üblicherweise um eine Photodiode. Jedoch ist auch ein anderer Photodetektor für die Integration in das Bauelement geeignet.

Ein gattungsgemäßes Bauelement ist aus der PCT-Anmeldung WO 95/18479 bekannt. Bei diesem Bauelement befindet sich der Lichtempfänger auf einer der Lichtaustrittsfläche entgegengesetzten Seite des Bauelements. Hierdurch wird die Lichtstrahlung, die nicht für den Lasereffekt ausgenutzt werden kann, zur Detektion der Leistung des Lasers eingesetzt.

Bei den bisherigen Integrationen von Vertikalresonator-Laserdioden mit Photodioden tritt insbesondere das folgende Problem auf: Der gemessene Photostrom ist nicht proportional zur emittierten Lichtleistung des Lasers und somit für eine Regelung der Ausgangsleistung der Vertikalresonator-Laserdiode kaum brauchbar.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Nachteile des Standes der Technik zu überwinden. Insbesondere ist ein Bauelement zu schaffen, das möglichst einfach herstellbar ist und bei dem der Lichtempfänger die von dem Lichtsender emittierte Strahlleistung wirksam erfassen kann.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß ein gattungsgemäßes Bauelement so ausgestattet wird, daß sich zwischen dem Lichtsender und dem Lichtempfänger wenigstens eine Funktionsschicht befindet, und daß der Brechungsindex der Funktionsschicht höchstens 2,5 beträgt.

Die Erfindung sieht also eine gezielte optische Entkopplung zwischen dem Lichtsender und dem Lichtempfänger durch eine oder mehrere zwischen ihnen angebrachten reflektierende Schichten vor. Diese Schichten, die wegen ihrer

semitransparenten Funktion auch als Funktionsschichten bezeichnet werden, dienen zur optischen Entkopplung zwischen dem Lichtsender und dem Lichtempfänger. Hierdurch wird der Einfluß der in der aktiven Zone eines Halbleiterlasers erzeugten spontanen Emission auf den Lichtempfänger verringert.

Die Erfindung sieht somit eine Abkehr von der technischen Lehre der PCT-Anmeldung WO 95/18479 vor. Nach der hieraus bekannten Lehre wird gerade die spontane Emission des Halbleiterlasers zur Ermittlung seiner Stärke eingesetzt. Besonders gute Reflexionseigenschaften lassen sich dadurch erreichen, daß der Brechungsindex der Funktionsschicht oder der Funktionsschichten niedriger ist als der Brechungsindex eines an ihnen angrenzenden Bereichs des Lichtempfängers und/oder des Lichtsenders.

Die Funktionsschicht oder die Funktionsschichten weisen in einem breiten Wellenlängenbereich eine gezielt niedrige Transmission auf.

Ein Brechungsindex der Funktionsschicht von höchstens 2,5 läßt sich vorzugsweise dadurch erzielen, daß die Funktionsschicht ein Oxid oder ein Nitrid enthält.

Oxide und Nitride haben neben ihrer einfachen Integrierbarkeit in den Herstellungsprozeß des Bauelementes beziehungsweise in eine in ihr enthaltenen elektrischen Schaltung den Vorteil, daß sie eine elektrische Isolation zwischen dem Lichtsender und dem Lichtempfänger ermöglichen. Durch diese elektrische Isolation ist es möglich, den Lichtsender und den Lichtempfänger unabhängig voneinander elektrisch anzusteuern.

Es ist besonders zweckmäßig, daß die Funktionsschicht aus einem Halbleiteroxid oder einem Metalloxid besteht.

Besonders geeignete Bestandteile der Funktionsschicht sind  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $(\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x)_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$  oder  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Eine hohe Lichtintensität verbunden mit einer geringen Linienbreite in der Größenordnung von 0,1 nm läßt sich dadurch erzielen, daß der Lichtsender durch eine Laserdiode gebildet ist.

Ferner ist es vorteilhaft, daß der Lichtempfänger durch eine Photodiode gebildet ist.

Eine besonders kompakte Bauweise läßt sich dadurch erreichen, daß der Lichtsender und/oder der Lichtempfänger übereinander angeordnete Schichten enthalten.

Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Herstellung eines Bauelements, bei dem auf einer Hauptfläche eines Substrats mehrere Schichten abgeschieden werden, wobei ein Teil der Schichten einen Lichtsender und ein anderer Teil der Schichten einen Lichtempfänger bildet. Dieses Verfahren wird erfindungsgemäß so durchgeführt, daß zwischen den Schichten, die den Lichtsender bilden und den Schichten, die den Lichtempfänger bilden, wenigstens eine Funktionsschicht erzeugt wird, wobei der Brechungsindex der Funktionsschicht höchstens 2,5 beträgt.

Die Funktionsschicht kann beispielsweise dadurch erzeugt werden, daß eine Schicht nach ihrem Aufbringen einer chemischen Reaktion unterworfen wird. Durch die chemische Reaktion wird der Brechungsindex verändert, insbesondere abgesenkt.

Eine Absenkung des Brechungsindex kann beispielsweise dadurch erzielt werden, daß die chemische Reaktion eine Oxidation beinhaltet. Eine derartige Absenkung des Brechungsindex tritt bei einer Vielzahl von Materialien auf. Die Erfindung ist in keiner Weise auf ein bestimmtes Ausgangsmaterial für die Oxidation beschränkt. Eine Integration in den Herstellungsprozeß des Bauelementes ist jedoch insbesondere bei der Oxidation eines Halbleitermaterials besonders einfach realisierbar. Als Ausgangsmaterialien eignen sich bevorzugt AlAs oder  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ . Hierbei ist es zweckmäßig, daß das  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$  einen Aluminiumgehalt

von wenigstens 90%, das heißt  $x \geq 0,9$ , aufweist.

Der Brechungsindex kann ferner dadurch abgesenkt werden, daß die chemischen Reaktion eine Nitridierung beinhaltet.

Weitere Vorteile, Besonderheiten und zweckmäßige Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Darstellung bevorzugter Ausführungsbeispiele anhand der Zeichnungen.

Von den Zeichnungen zeigt:

**Fig. 1** einen Querschnitt durch eine erste Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Bauelements,

**Fig. 2** das in **Fig. 1** dargestellte Bauelement mit Anschlüssen zu seiner Ansteuerung und

**Fig. 3** einen Querschnitt durch eine andere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Bauelements.

Die **Fig. 1, 2** und **3** zeigen in vertikal gestreckten, nicht maßstabgerechten Darstellungen einen Querschnitt durch einen etwa 20  $\mu\text{m}$  breiten Bereich von erfindungsgemäßen Bauelementen.

Das in **Fig. 1** dargestellte Bauelement enthält ein Halbleitersubstrat **10**. Das Halbleitersubstrat **10** weist eine Konzentration eines Dotierstoffs von ungefähr  $10^{17}$  bis  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$  auf. Bei dem Halbleitersubstrat **10** handelt es sich vorzugsweise um Galliumarsenid GaAs.

Auf einer Hauptfläche des Halbleitersubstrats **10** ist eine, einen elektrischen Kontakt bildende Metallschicht **20** aufgebracht. Die Metallschicht **20** besteht aus einer hochleitfähigen Metallegierung, wobei sich eine Gold-Germanium-Legierung besonders eignet.

Auf der anderen Hauptfläche des Halbleitersubstrats **10** befindet sich ein Bragg-Reflektor **30**, der durch einen Schichtstapel aus Schichten **40, 50** gebildet ist. Der Schichtstapel ist dabei so aufgebaut, daß eine Schicht **40** mit einem hohen Brechungsindex mit einer Schicht **50** mit einem niedrigen Brechungsindex abwechselt. Der Bragg-Reflektor **30** beinhaltet vorzugsweise 20 bis 30 derartiger Schichtpaare. Um eine Sichtbarkeit der Schichten in der graphischen Darstellung zu ermöglichen, wurde nur ein Teil der Schichten **40** und **50** dargestellt.

Die Schichten **40** und **50** bestehen aus einem Halbleitermaterial, wobei sich  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  besonders eignet. Die Schichten **40** und **50** weisen durch einen unterschiedlichen Aluminiumgehalt unterschiedliche Brechungsindizes auf. Der Aluminiumgehalt  $x$  in der Verbindung  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  variiert vorzugsweise innerhalb des Bereichs von  $x = 1$  bis  $x = 0,15$ . Die Dicke der Schichten **40, 50** beträgt jeweils ein Viertel des Produkts aus einer zu reflektierenden Wellenlänge und dem Brechungsindex der jeweiligen Schicht. Bei einer Emissionswellenlänge von beispielsweise 850 nm betragen die Schichtdicken daher für  $x = 1$  ungefähr 70 nm und für  $x = 0,15$  ungefähr 60 nm.

Die Schichten **40** und **50** sind mit einem Dotierstoff des n-Typs, beispielsweise Schwefel, Selen oder Tellur dotiert, wobei sich Tellur besonders eignet. Die Konzentration des Dotierstoffs beträgt etwa  $2 \text{ mal } 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ .

Oberhalb des Bragg-Reflektors **30** befindet sich eine aktive Schicht **60**. Die aktive Schicht **60** weist eine kleinere Bandlücke und somit eine höhere Ladungsträgerdichte auf als die an ihr anliegenden Schichten. Eine kleinere Bandlücke der aktiven Schicht **60** als der an ihr anliegenden Schichten wird bei der hier dargestellten Heterostruktur vorzugsweise dadurch gebildet, daß die aktive Schicht aus GaAs besteht. Eine Dotierung der aktiven Schicht **60** ist nicht erforderlich. Die aktive Schicht **60** ist vorzugsweise undotiert, jedoch führt eine Dotierung nicht zu einer wesentlichen Beeinträchtigung. Unterhalb der aktiven Schicht **60** befindet sich eine vorzugsweise n-dotierte Schicht aus  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$  und oberhalb der aktiven Schicht **60** eine Halb-

leiterschicht **70**, beispielsweise aus p-dotiertem  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ .

Oberhalb der aktiven Schicht **60** und der auf der aktiven Schicht **60** angeordneten Halbleiterschicht **70** befindet sich eine Isolationsschicht **80**. Die Isolationsschicht **80** enthält eine Öffnung **90**, die auch als Aperturöffnung bezeichnet wird. Ein elektrischer Strom kann durch die Öffnung **90** von einem Kontakt, vorzugsweise einem Ringkontakt **105**, in die aktive Zone des Lasers eindringen. Hierdurch wird im fertigen Bauelement eine Feldverteilung erzielt, durch die es zu einer Emission von Laserstrahlung in vertikaler Richtung kommt.

Oberhalb der Isolationsschicht **80** befindet sich ein weiterer Bragg-Reflektor **100**. Der Bragg-Reflektor **100** weist einen ähnlichen Aufbau auf wie der untere Bragg-Reflektor **30**. Vorzugsweise ist der Bragg-Reflektor **100** jedoch mit einem Dotierstoff dotiert, der einen dem Dotierstoff des unteren Bragg-Reflektors **30** entgegengesetzten Leitfähigkeitstyp hat. Beispielsweise kann der Bragg-Reflektor **100** mit Zink dotiert sein, wobei eine Dotierstoffkonzentration von etwa  $2 \text{ bis } 3 \text{ mal } 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  bevorzugt ist. Ein weiterer möglicher Unterschied zwischen den Bragg-Reflektoren **30** und **100** ist ein gegebenenfalls unterschiedlicher Aluminiumgehalt der sie bildenden Schichten.

Die dargestellten Bereiche des Bauelementes bilden eine Laserdiode **108**. Bei der Laserdiode **108** handelt es sich um eine Vertikalresonator-Laserdiode.

Oberhalb des weiteren Bragg-Reflektors **100** befinden sich drei Funktionsschichten **110, 120** und **130** aus einem nichtleitenden Material. Vorzugsweise bestehen die Funktionsschichten **110, 120** und **130** aus einem Halbleiteroxid, insbesondere aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oder aus  $(\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x)_2\text{O}_3$  mit einem hohen Aluminiumgehalt von wenigstens 90%, das heißt mit  $x \geq 0,9$ .

Auf den Funktionsschichten **110, 120** und **130** befindet sich eine Photodiode **135**. Die Photodiode **135** ist vorzugsweise als Pin-Diode ausgebildet und enthält drei Halbleiterschichten **140, 150** und **160**. Die untere Halbleiterschicht **140** besteht vorzugsweise aus  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$  und ist beispielsweise mit Schwefel, Selen oder Tellur n-dotiert, wobei sich Tellur als Dotierstoff besonders eignet. Die mittlere Halbleiterschicht **150** besteht vorzugsweise aus GaAs und enthält keinen Dotierstoff. Die obere Halbleiterschicht **160**, beispielsweise aus  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$  ist p-dotiert, wobei sich Zink als Dotierstoff besonders eignet.

Eine optische Isolation zum Abblocken der spontanen Emission des Lasers wird bei diesem Bauelement durch die Reflexion von Lichtstrahlen an Grenzflächen zwischen den Funktionsschichten **110, 120, 130** und einer angrenzenden Halbleiterschicht erreicht. Der große Brechzahlunterschied an diesen Grenzflächen sorgt dafür, daß der größte Teil von schräg auftreffenden spontan emittierten Lichtstrahlen **170, 180** wegen einer Totalreflexion die Grenzfläche nicht passieren kann. Dadurch wird verhindert, daß die spontane Emission einen störender Rauschstrom in der Photodiode **135** generiert. Die fast senkrecht auf die Grenzflächen auftreffenden Lichtstrahlen der spontanen Emission laufen ungefähr parallel zu einer optischen Lasermode **190**. Der größte Teil dieser Lichtstrahlen wird bereits durch die Filterwirkung des Bragg-Reflektors **100** der Vertikalresonator-Laserdiode **108** abgeblockt, so daß der Strom der Photodiode **135** hauptsächlich durch die eintretende Laserstrahlung erzeugt wird.

Ein in der Photodiode **135** absorbiert Teil der Laserstrahlung ist mit der Bezugsziffer **200** bezeichnet. Durch die Photodiode **135** tritt ein Ausgangslaserstrahl **210** nach außen.

Die Vertikalresonator-Laserdiode **108** und die Photodiode **135** können völlig unabhängig voneinander an eine äußere

elektrische Schaltung angeschlossen werden. Ein derartiger Anschluß ist in Fig. 2 schematisiert dargestellt.

Eine Spannungsquelle 220 für die Laserdiode 108 ist an die Metallschicht 20 und den Ringkontakt 105 angeschlossen. Die Spannungsquelle 220 wird durch einen nicht dargestellten Regelkreis gesteuert. Der Regelkreis erfaßt einen in der Photodiode 135 fließenden Photostrom und steuert in Abhängigkeit von der Größe des Photostroms die Spannungsquelle 220. Die Größe des Photostroms wird durch eine Amperemeter 250 gemessen. Das Amperemeter 250 ist hierzu über Kontakte 230, 240 mit der Photodiode 135 verbunden. Hierdurch ist es möglich, die Ausgangsleistung der Laserdiode 108 in Abhängigkeit von dem in der Photodiode 135 fließenden Photostrom zu steuern.

Das in den Fig. 1 und 2 dargestellte Bauelement kann beispielsweise wie nachfolgend erläutert hergestellt werden.

Die Halbleiterschichten der Laserdiode 108 werden mit einem der bekannten Epitaxieverfahren auf dem Halbleitersubstrat 10 abgeschieden. Hierzu eignet sich insbesondere eine metallorganische Gasphasenepitaxie (Metall Organic Vapour Phase Epitaxy; MOVPE). Jedoch sind auch andere Epitaxieverfahren wie Molekularstrahlepitaxie (Molecular Beam Epitaxy; MBE) geeignet. Anschließend werden die Halbleiterschichten der Laserdiode 108 strukturiert.

Die Funktionsschichten 110, 120 und 130 werden mit einem der bekannten Epitaxieverfahren gitterangepaßt zwischen den Halbleiterschichten der Laserdiode 108 und der Photodiode 135 auf  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ -Substraten abgeschieden. Hierzu eignet sich insbesondere eine metallorganische Gasphasenepitaxie (Metall Organic Vapour Phase Epitaxy; MOVPE). Jedoch sind auch andere Epitaxieverfahren wie Molekularstrahlepitaxie (Molecular Beam Epitaxy; MBE) geeignet. Anschließend werden bei der Bauelementestrukturierung Mesastrukturen geätzt, an deren Seitenflanken die Funktionsschichten 110, 120 und 130 freigelegt sind. In einer naßchemischen Oxidation wird  $\text{AlAs}$  zur Bildung der Funktionsschichten 110, 120 und 130 bei einer Temperatur von ca.  $400^\circ\text{C}$  in einer wasserdampf-gesättigten Stickstoff-Atmosphäre in elektrisch nichtleitendes  $\text{Al}_2\text{O}_3$  umgewandelt.

Durch die vollständige selektive Oxidation einer oder mehrerer  $\text{AlAs}$ -Schichten zwischen den Halbleiterschichten der Photodiode 135 und den Schichten der Laserdiode 108 wird unmittelbar eine elektrische Isolation der Bauelemente voneinander erreicht.

Die Halbleiterschichten der Photodiode 135 werden gleichfalls mit einem der bekannten Epitaxieverfahren abgeschieden. Hierzu eignet sich wiederum insbesondere eine metallorganische Gasphasenepitaxie (Metall Organic Vapour Phase Epitaxy; MOVPE). Jedoch sind auch andere Epitaxieverfahren wie Molekularstrahlepitaxie (Molecular Beam Epitaxy; MBE) geeignet. Anschließend werden die Halbleiterschichten der Photodiode 135 strukturiert.

Fig. 3 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiele der Erfindung. Während in Fig. 1 die Photodiode 135 über der Vertikalresonator-Laserdiode 108 angeordnet ist, stellt Fig. 3 eine Ausführungsform dar, bei der sich eine Photodiode 260 unterhalb einer Laserdiode 270 befindet.

Das in Fig. 3 dargestellte Bauelement enthält ein Halbleitersubstrat 310. Das Halbleitersubstrat 310 weist eine Konzentration eines Dotierstoffs von ungefähr  $10^{17}$  bis  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$  auf. Bei dem Halbleitersubstrat 10 handelt es sich um Galliumarsenid  $\text{GaAs}$ .

Auf einer Hauptfläche des Halbleitersubstrats 310 ist eine, einen elektrischen Kontakt bildende Metallschicht 320 aufgebracht. Die Metallschicht 320 besteht aus einer hochleitfähigen Metallegierung, wobei sich eine Gold-Germanium-Legierung besonders eignet.

Auf der anderen Hauptfläche des Halbleitersubstrats 310 befindet sich eine Photodiode 260. Die Photodiode 260 ist vorzugsweise als Pin-Diode ausgebildet und enthält drei Halbleiterschichten 340, 350 und 360. Die untere Halbleiterschicht 340 besteht vorzugsweise aus  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$  und ist beispielsweise mit Schwefel, Selen oder Tellur n-dotiert, wobei sich Tellur als Dotierstoff besonders eignet. Die mittlere Halbleiterschicht 350 besteht vorzugsweise aus  $\text{GaAs}$  und enthält keinen Dotierstoff. Die obere Halbleiterschicht 360, beispielsweise aus  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$  ist p-dotiert, wobei sich Zink als Dotierstoff besonders eignet.

Oberhalb der Photodiode 260 befinden sich drei Funktionsschichten 370, 380 und 390 aus einem nichtleitenden Material. Vorzugsweise bestehen die Funktionsschichten 370, 380 und 390 aus einem Halbleiteroxid, insbesondere aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oder aus  $(\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x)_2\text{O}_3$  mit einem hohen Aluminiumgehalt von wenigstens 90%, das heißt mit  $x \geq 0,9$ .

Eine optische Isolation zum Abblocken der spontanen Emission des Lasers wird bei diesem Bauelement durch die Reflexion von Lichtstrahlen an Grenzflächen zwischen den Funktionsschichten 370, 380, 390 und einer angrenzenden Halbleiterschicht erreicht. Der große Brechzahlunterschied an diesen Grenzflächen sorgt dafür, daß der größte Teil von schräg auftreffenden spontan emittierten Lichtstrahlen wegen einer Totalreflexion die Grenzfläche nicht passieren kann. Dadurch wird verhindert, daß die spontane Emission einen störenden Rauschstrom in der Photodiode 260 generiert. Die fast senkrecht auf die Grenzflächen auftreffenden Lichtstrahlen der spontanen Emission laufen ungefähr parallel zu einer optischen Lasermode 400. Der größte Teil dieser Lichtstrahlen wird bereits durch die Filterwirkung eines Bragg-Reflektors 410 der Vertikalresonator-Laserdiode 270 abgeblockt, so daß der Strom der Photodiode 260 hauptsächlich durch die eintretende Laserstrahlung erzeugt wird.

Der Bragg-Reflektor 410 ist durch einen Schichtstapel aus Schichten 420, 430 gebildet. Der Schichtstapel ist dabei so aufgebaut, daß eine Schicht 420 mit einem hohen Brechungsindex mit einer Schicht 430 mit einem niedrigen Brechungsindex abwechselt. Der Bragg-Reflektor 410 beinhaltet vorzugsweise 20 bis 30 derartiger Schichtpaare. Um eine Sichtbarkeit der Schichten 420, 430 in der graphischen Darstellung zu ermöglichen, wurde nur ein Teil der Schichten 420, 430 dargestellt.

Die Schichten 420 und 430 bestehen aus einem Halbleitermaterial, wobei sich  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  besonders eignet. Die Schichten 420 und 430 weisen durch einen unterschiedlichen Aluminiumgehalt unterschiedliche Brechungsindizes auf. Der Aluminiumgehalt  $x$  in der Verbindung  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  variiert vorzugsweise innerhalb des Bereichs von  $x = 1$  bis  $x = 0,15$ . Die Dicke der Schichten 420, 430 beträgt jeweils ein Viertel des Produkts aus einer zu reflektierenden Wellenlänge und dem Brechungsindex der jeweiligen Schicht. Bei einer Emissionswellenlänge von beispielsweise 850 nm betragen die Schichtdicken daher für  $x = 1$  ungefähr 70 nm und für  $x = 0,15$  ungefähr 60 nm.

Die Schichten 420 und 430 sind mit einem Dotierstoff des n-Typs, beispielsweise Schwefel, Selen oder Tellur dotiert, wobei sich Tellur besonders eignet. Die Konzentration des Dotierstoffs beträgt etwa  $2 \text{ mal } 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ .

Oberhalb des Bragg-Reflektors 410 befindet sich eine aktive Schicht 440. Die aktive Schicht 440 weist eine kleinere Bandlücke und somit eine höhere Ladungsträgerdichte auf als die an ihr anliegenden Schichten. Eine kleinere Bandlücke der aktiven Schicht 440 als der an ihr anliegenden Schichten wird bei der hier dargestellten Heterostruktur vorzugsweise dadurch gebildet, daß die aktive Schicht aus  $\text{GaAs}$  besteht. Eine Dotierung der aktiven Schicht 440 ist nicht erforderlich. Die aktive Schicht 440 ist vorzugsweise

undotiert, jedoch führt eine Dotierung nicht zu einer wesentlichen Beeinträchtigung. Unterhalb der aktiven Schicht **440** befindet sich eine vorzugsweise n-dotierte Schicht aus  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$  und oberhalb der aktiven Schicht **440** eine Halbleiterschicht, beispielsweise aus p-dotiertem  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ .

Oberhalb der aktiven Schicht **440** und der auf der aktiven Schicht **440** angeordneten Halbleiterschicht befindet sich eine Isolationsschicht **450**. Die Isolationsschicht **450** enthält eine Öffnung **460**, die auch als Aperturöffnung bezeichnet wird. Ein elektrischer Strom kann durch die Öffnung **460** von einem Kontakt, vorzugsweise einem Ringkontakt **470**, in die aktive Zone des Lasers eindringen. Hierdurch wird im fertigen Bauelement eine Feldverteilung erzielt, durch die es zu einer Emission von Laserstrahlung in vertikaler Richtung kommt.

Oberhalb der Isolationsschicht **450** befindet sich ein weiterer Bragg-Reflektor **480**. Der Bragg-Reflektor **480** weist einen ähnlichen Aufbau auf wie der untere Bragg-Reflektor **410**. Vorzugsweise ist der Bragg-Reflektor **480** jedoch mit einem Dotierstoff dotiert, der einen dem Dotierstoff des unteren Bragg-Reflektors **410** entgegengesetzten Leitfähigkeitstyp hat. Beispielsweise kann der Bragg-Reflektor **480** mit Zink dotiert sein, wobei eine Dotierstoffkonzentration von etwa 2 bis 3 mal  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$  bevorzugt ist. Ein möglicher Unterschied zwischen den Bragg-Reflektoren **480** und **410** ist ein gegebenenfalls unterschiedlicher Aluminiumgehalt der sie bildenden Schichten.

Aus der Laserdiode **270** tritt ein Ausgangslaserstrahl **490** nach außen.

Die Vertikalresonator-Laserdiode **270** und die Photodiode **260** können völlig unabhängig voneinander an eine äußere elektrische Schaltung angeschlossen werden. Dieser Anschluß sowie die Herstellung des Bauelementes können analog zu dem ersten, anhand der Fig. 1 und 2 dargestellten Ausführungsbeispiel erfolgen.

In den hier beispielhaft beschriebenen Ausführungsformen der Erfindung wird die optische und elektrische Trennung der Photodiode **135**; **260** von der Vertikalresonator-Laserdiode **108**, **270** durch Zwischenschichten aus oxidiertem  $\text{AlAs}$  erreicht. Diese Zwischenschichten können jedoch selbstverständlich auch durch andere Schichten mit vergleichbaren optischen Eigenschaften ersetzt werden. Auch die anderen eingesetzten Materialien stellen vorteilhafte Realisierungsmöglichkeiten für den Aufbau eines erfindungsgemäßen Bauelementes dar. Sie können jedoch durch andere Materialien ersetzt werden. Die Erfindung ist nicht auf bestimmte Materialien oder Materialkombinationen beschränkt. Insbesondere können auch andere Halbleitermaterialien eingesetzt werden. Ebenso können die Arten der Dotierung vertauscht werden.

Eine Datenübertragung mit vielen verschiedenen Wellenlängen läßt sich dadurch erreichen, daß das Bauelement so ausgestaltet wird, daß es eine Vielzahl von Lichtsendern und Lichtempfängern enthält, und daß die Lichtsender und Lichtempfänger in einem Feld angeordnet sind.

Diese Variante der Erfindung sieht also vor, in einem ein- oder zweidimensionalen Feld (array) mehrere Lichtsender, insbesondere mehrere Laserdioden **108**, **270** nebeneinander anzuordnen. Auf beziehungsweise unter den einzelnen Lichtsendern befindet sich jeweils ein die Sendeleistung des Lichtsenders erfassender Lichtempfänger. Die von dem Lichtempfänger detektierte optische Sendeleistung der Lichtquelle dient zu einer Ansteuerung dieser Lichtquelle. Eine aus einem Lichtsender und einer Lichtquelle gebildete Einheit bildet ein Einzelelement des Bauelementes.

In einer Array-Anordnung mit mehreren Vertikalresonator-Laserdioden **108** und Photodioden **135**; **260** auf einem

gemeinsamen Substrat kann auch eine elektrische Trennung zwischen den Einzelelementen erreicht werden. Dazu werden die Elemente auf einem elektrisch nichtleitfähigen Substrat, beispielsweise einem  $\text{GaAs}$ -Substrat, hergestellt, oder es werden isolierende Zwischenschichten zwischen den Halbleiterschichten der Bauelemente und dem Substrat eingebaut.

#### Patentansprüche

1. Bauelement mit einem Substrat (**10**; **310**), auf dem wenigstens ein Lichtsender, der Licht mit einer Emissionswellenlänge  $\lambda$  emittiert, und wenigstens ein Lichtempfänger übereinander angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß sich zwischen dem Lichtsender und dem Lichtempfänger wenigstens eine Funktionsschicht (**110**, **120**, **130**; **370**, **380**, **390**) befindet, und daß der Brechungsindex der Funktionsschicht (**110**, **120**, **130**; **370**, **380**, **390**) höchstens 2,5 beträgt.
2. Bauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Funktionsschicht (**110**, **120**, **130**; **370**, **380**, **390**) aus einem oxidischen oder nitridierten Material besteht.
3. Bauelement nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Funktionsschicht (**110**, **120**, **130**; **370**, **380**, **390**) aus einem Halbleiteroxid oder einem Metalloxid besteht.
4. Bauelement nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Funktionsschicht (**110**, **120**, **130**; **370**, **380**, **390**)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $(\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x)_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ , oder  $\text{SiO}_2$  enthält.
5. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Lichtsender durch eine Laserdiode (**108**, **270**) gebildet ist.
6. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Lichtempfänger durch eine Photodiode (**135**, **260**) gebildet ist.
7. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Lichtsender und/oder der Lichtempfänger übereinander angeordnete Schichten enthalten.
8. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß es eine Vielzahl von Lichtsendern und Lichtempfängern enthält, und daß die Lichtsender und Lichtempfänger in einem Feld angeordnet sind.
9. Verfahren zur Herstellung eines Bauelementes, bei dem auf einer Hauptfläche eines Substrats (**10**; **310**) mehrere Schichten abgeschieden werden, wobei ein Teil der Schichten einen Lichtsender, der Licht mit einer Emissionswellenlänge  $\lambda$  emittiert, und ein anderer Teil der Schichten einen Lichtempfänger bildet, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den Schichten, die den Lichtsender bilden, und den Schichten, die den Lichtempfänger bilden, wenigstens eine Funktionsschicht (**110**, **120**, **130**; **370**, **380**, **390**) erzeugt wird, wobei der Brechungsindex der Funktionsschicht (**110**, **120**, **130**; **370**, **380**, **390**) höchstens 2,5 beträgt.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Funktionsschicht (**110**, **120**, **130**; **370**, **380**, **390**) dadurch erzeugt wird, daß eine Schicht nach ihrem Aufbringen einer chemischen Reaktion unterworfen wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die chemische Reaktion eine Oxidation beinhaltet.
12. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die chemische Reaktion eine Nitridierung

beinhaltet.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65



- Leerseite -

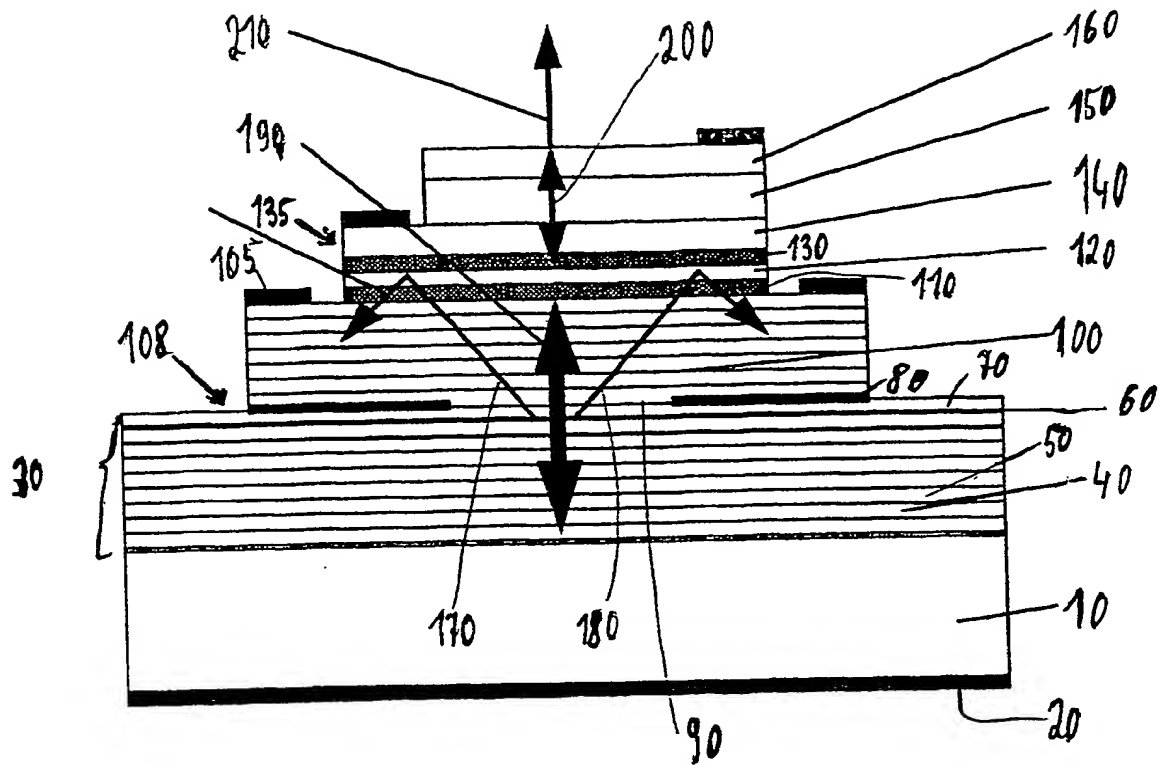


Fig. 1

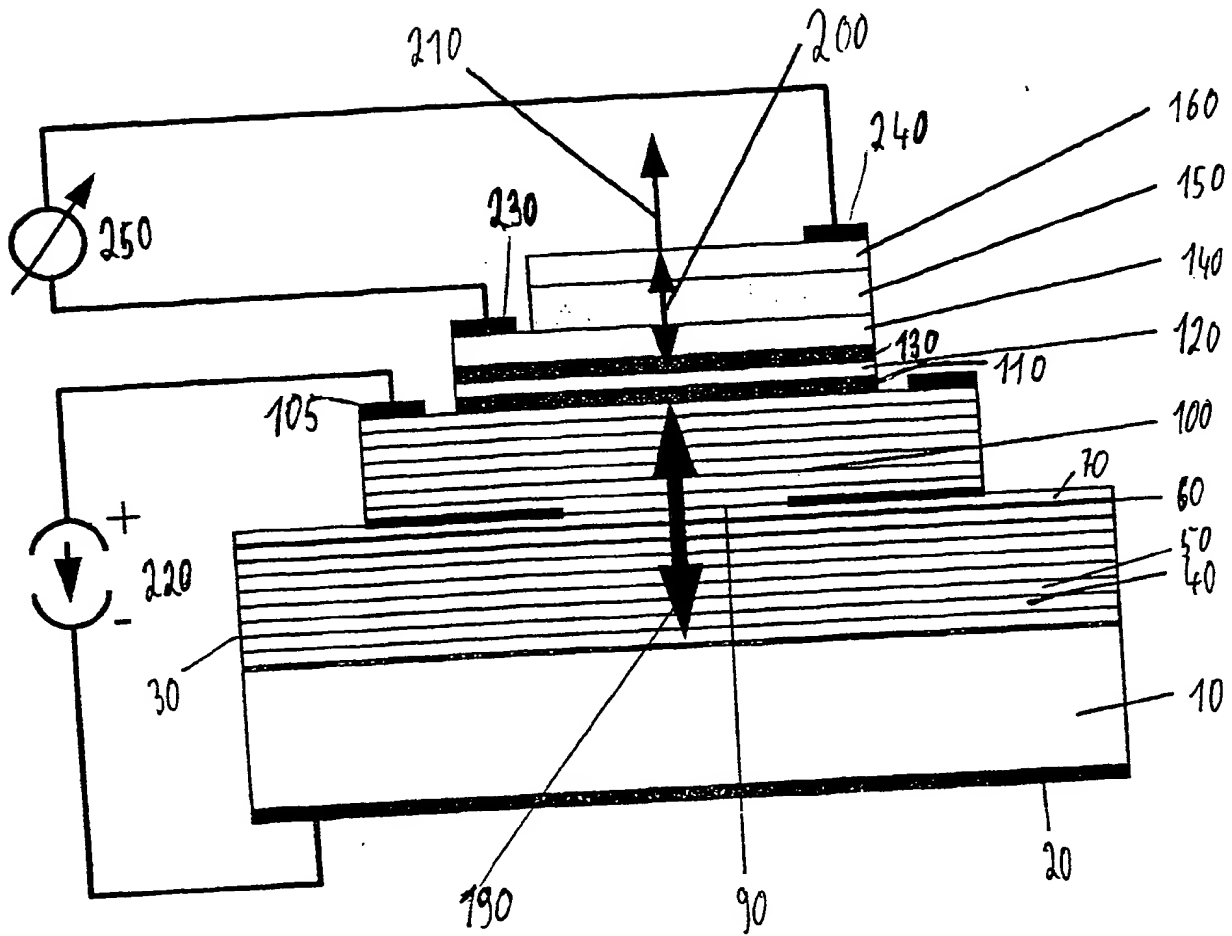


Fig. 2

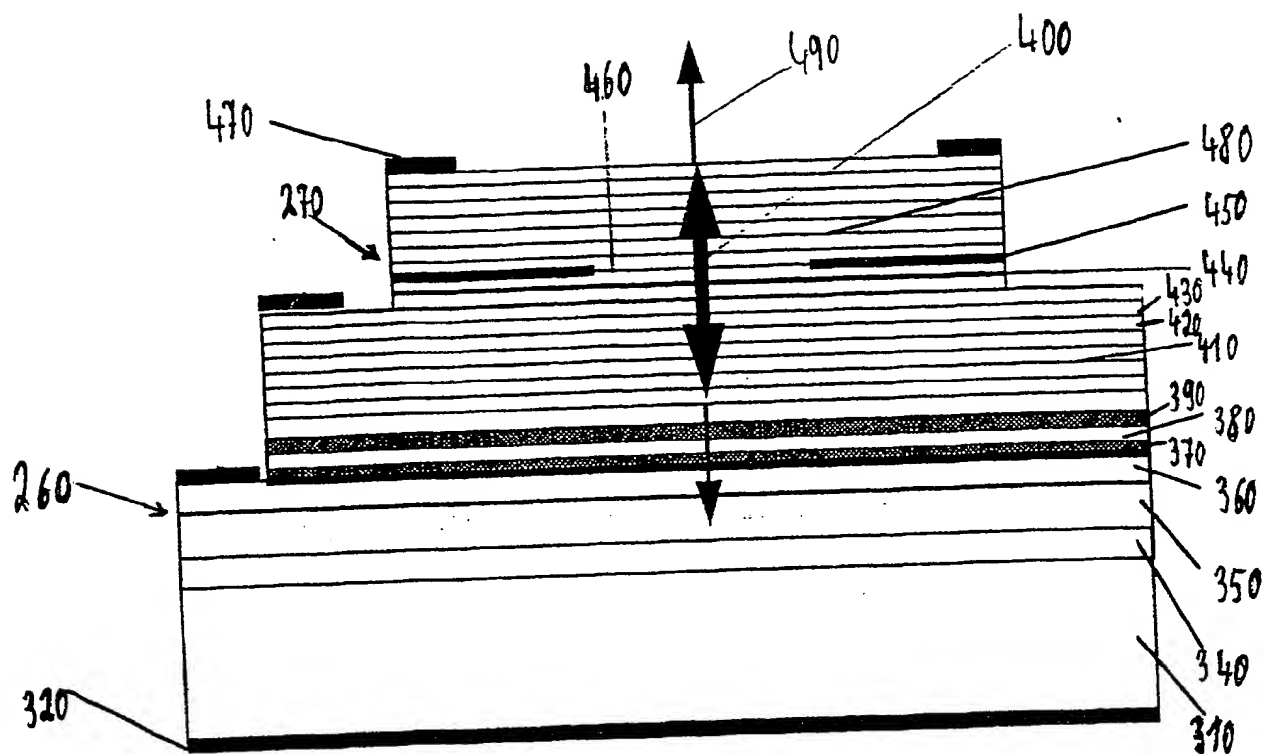


Fig. 3